

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-005046

(43)Date of publication of application : 10.01.1997

(51)Int.Cl.

G01B 11/24

G06T 7/00

(21)Application number : 07-176931

(71)Applicant : TAKAOKA ELECTRIC MFG CO LTD

(22)Date of filing : 21.06.1995

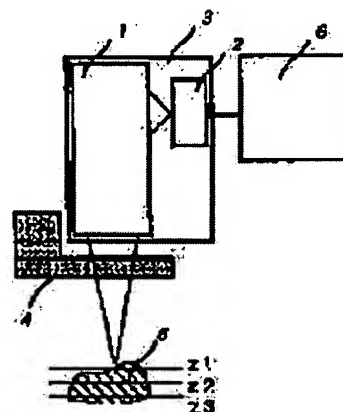
(72)Inventor : ISHIHARA MITSUHIRO

## (54) THREE-DIMENSIONAL SHAPE MEASURING APPARATUS

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To provide an apparatus to measure a three-dimensional shape at a high speed and high precision by image processing in which an occluding edge problem does not occur, of which transverse resolution function for an original image is not deteriorated, by which processing is carried out easily, and which has a sufficient speed for in-line use and has constant image focusing magnification against the change of focus point.

**CONSTITUTION:** The three-dimensional shape measuring apparatus is composed of a confocal scanning image-pickup system 3 consisting of a confocal scanning optical system 1 and a photoelectric sensor 2 to carry out photoelectric transduction of the image obtained by the system 1, a focus point changing means 4 for the confocal scanning image-pickup system 3, and an image processing apparatus 6 to calculate the three-dimensional shape of an object by calculating the convergence position of each point of images at precision exceeding the gap of focus points of images based on density information of a plurality of images with different focus points obtained by the confocal scanning image-pickup system 3 and the focus point changing means 4.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-5046

(43) 公開日 平成9年(1997)1月10日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 1 B 11/24

G 0 1 B 11/24

C

G 0 6 T 7/00

G 0 6 F 15/62

4 1 5

審査請求 未請求 請求項の数3 F D (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平7-176931

(22) 出願日 平成7年(1995)6月21日

(71) 出願人 000002842

株式会社高岳製作所

東京都千代田区大手町2丁目2番1号

(72) 発明者 石原 満宏

愛知県西春日井郡西枇杷島町芳野町3丁目

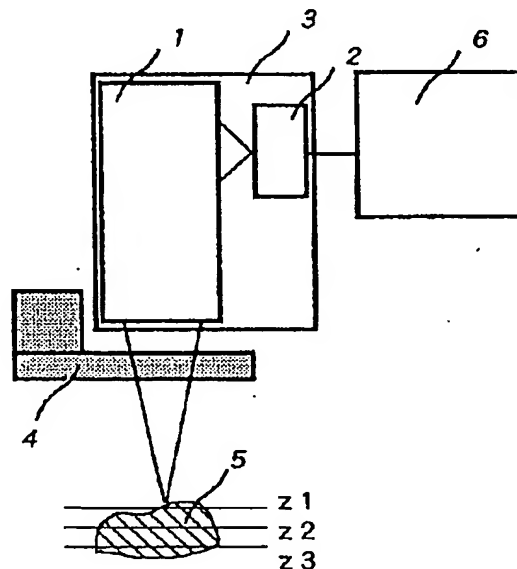
1番地 株式会社高岳製作所技術開発センター内

(54) 【発明の名称】 立体形状測定装置

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、オクルーディングエッジの問題がなく、元の画像に対して横分解能が低下することなく、処理が容易で、インラインでの使用に耐えうる速度で、かつ焦点位置変化に対して結像倍率の変化しない立体形状測定装置を提供することを目的とする。画像処理による高速、高精度の立体形状測定装置を提供することを目的とする。

【構成】 共焦点走査光学系1とその像を光電変換する光電センサ2とよりなる共焦点走査撮像系3と、共焦点走査撮像系3の焦点位置変化手段4と、共焦点走査撮像系3と焦点位置変化手段4とから得られた焦点位置の異なる複数枚の画像から、画像の濃度情報を用いて、画像の焦点位置間隔を超える精度で画像各点の合焦点位置を求めることで物体の立体形状を演算する画像処理装置6とにより構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 物体の立体形状を光学的に測定する装置において、共焦点走査光学系と共焦点走査光学系により得られる 2 次元光学像を光電変換する光電センサとより構成された共焦点走査撮像系と、前記共焦点走査光学系の焦点位置を変える焦点位置変化手段と、前記共焦点走査撮像系と前記焦点位置変化手段とにより得られた焦点位置の異なる複数の画像を取り込み、焦点位置の変化に対応して変化する画像各点の濃度値から、濃度値の最大値を与える焦点位置を内挿処理を用いて、取り込まれた

10 画像の焦点位置間隔を超える精度で画像各点毎に推定し、推定した焦点位置をその点の高さとする処理を実行する画像処理装置とから構成されることを特徴とする立体形状測定装置。

【請求項 2】 焦点位置変化手段は、互いに厚さが異なる複数の平行平板形の透明体か又は互いに屈折率が異なる複数の平行平板形の透明体を、物体と共焦点走査光学系の共焦点結像面間の光路に順次挿入するものであることを特徴とする請求項 1 記載の立体形状測定装置。

【請求項 3】 共焦点走査光学系は、物体側にテレセン

トリックであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の立体形状測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、物体の 3 次元的な形状を光学的に測定する立体形状測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より焦点位置に着目した光学的立体形状測定方法として特開平 3 - 6 3 5 0 7 号公報又は論文 [1] 「Shape from focus system for rough surfaces」、Proceedings of the Image Understanding, 1992 年、S. K. Nayar に記載されたものが知られている（以下この方法を Shape From Focus 法、略して SFF 法と呼ぶことにする）。SFF 法は物体表面にテクスチャパターンを投影し、z 軸ステージの操作により、焦点位置を変えた複数の画像を撮像し、得られたそれぞれの画像の局所領域毎にその局所領域内のコントラスト情報から合焦測度を求め、画像間の対応する局所領域毎に合焦位置（合焦測度の最大位置）を内挿演算により求める処理を画像全体にわたって行うことで物体の立体形状を計測する方法であり、微小物体の高精度な立体形状計測方法として知られている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながらこの SFF 法にはいくつかの問題がある。（1）図 7 に示すような急峻な立体エッジが存在する場合、その下の部分のエッジ近傍の領域では計測ができない。この領域では、撮像系の焦点がこの位置にあっていても上側のエッジのボ

ケが重畳するためにコントラスト変化が確認できない。

（以下この問題をオクルーディングエッジの問題と呼ぶ）。（2）横分解能が低い（横分解能とは高さ方向を z 方向とした場合の x y 方向の分解能である）。合焦測度であるコントラスト情報を得るためにはテクスチャーが十分含まれる大きさの局所領域が必要となるため元の画像に比べ平滑化の効果が生じ、それによって横分解能が低下してしまう。（3）処理が複雑である。局所領域内のコントラスト情報から合焦測度を求めるの計算には微分処理と局所和の処理又はヒストグラムの分散値を求める処理が必要であり、ソフト処理ではこの部分に非常に時間がかかるため処理回路を製作する必要がある。また微分や局所和を行うサイズとして、その最適値は物体によって異なるので、物体毎に選択が必要となる。

【0004】 その他に実用上以下の 2 つの問題がある。

（4）従来行われている z 軸ステージ操作による焦点位置の移動方法は制御が煩わしく、インライン計測で必要となる高速応答には対応が難しい。（5）焦点位置が変化した場合の結像倍率変化の問題が考慮されていないので計測精度が低下する。

【0005】 そこで本発明は、オクルーディングエッジの問題がなく、元の画像に対して横分解能が低下することなく、処理が容易で、インラインでの使用に耐えうる速度で、かつ焦点位置変化に対して結像倍率の変化しない立体形状測定装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】 目的達成のために本発明では、共焦点走査光学系と共焦点走査光学系により得られる 2 次元光学像を光電変換する光電センサとより構成された共焦点走査撮像系と、前記共焦点走査光学系の焦点位置をする焦点位置変化手段と、前記共焦点走査撮像系と前記焦点位置変化手段とにより得られた焦点位置の異なる複数の画像を取り込み、焦点位置の変化に対応して変化する画像各点の濃度値から、取り込まれた画像の焦点位置間隔を超える精度で、濃度値の最大値を与える焦点位置を内挿処理を用いて画像各点毎に推定し、推定した焦点位置をその点の高さとする処理を実行する画像処理装置とから構成する。

【0007】 また焦点位置変化手段は、互いに厚さが異なる複数の平行平板形の透明体か又は互いに屈折率が異なる複数の平行平板形の透明体を、物体と共焦点走査光学系の共焦点結像面間の光路に順次挿入するように構成し、共焦点走査光学系は、物体側にテレセントリックとなるように構成する。

【0008】

【作用】 このように装置を構成することにより以下のような作用が得られる。（1）共焦点走査撮像系はスポット光の走査により画像を構成するため、ある点の濃度値は他の点のボケに影響を受けることがなくなり、オクルーディングエッジの問題は発生しなくなる。（2）共焦

点走査撮像系が構成する画像の各点の濃度値は合焦位置に近いほど高い値となる。これはSFF法の合焦測度が持つ性質そのものであるから合焦測度の計算には濃度値をそのまま用いればよく、合焦測度の計算は必要なくなる。このため局所領域の設定も必要なく、ある点の高さは画像それぞれのその点のみの濃度値から決定されることから横分解能の低下は発生しなくなる。(3)(2)と同様に合焦測度を求める必要ないため、微分も局所和もヒストグラムの分散値も求める必要が無くなり処理回路が簡略化される。また処理のサイズの選択に煩わされることもなくなる。(4)焦点位置の移動は平行平板形の透明体の挿入による光路長の変化により達成されるためz軸ステージ移動の必要がなく、高速の画像入力が可能となる。(5)共焦点走査光学系がテレセントリックだから結像倍率変化は発生しなくなる。

【0009】

【実施例】本発明の実施例を説明するのに先立ち共焦点走査光学系についての一般的な説明をする。まず共焦点光学系について述べる。図2に共焦点光学系の基本構成を示す。ピンホール201を通して射出された照明光は対物レンズ202により集光され焦点面203に収束する。この位置に物体表面204がある場合、物体の反射光は照明光と全く逆の過程でピンホール201に収束し、対物レンズ202に入射した反射光のほとんどがピンホール201を通過する。しかし、物体表面204が焦点面203から離れると反射光の収束点もピンホール201から離れることになりピンホール201を通過する光量は減少する。このときピンホール201を通過する光強度 $|V(z)|^2$ は照明光の波数を $k$ 、対物レンズ202のNAを $\sin \theta$ 、反射光の収束点とピンホール201の距離を $z$ とすれば $|V(z)| = |\sin kz(1 - \cos \theta)| / |kz(1 - \cos \theta)|$ により与えられることが知られており(論文[2]「Depth response of confocal optical microscopes」、OPTICS LETTERS, Vol. 11, No. 12, 1986年, T. R. Corle他参照)、照明光の波長を550nm、NAが0.1の場合、図4のような光強度変化となる。このように共焦点光学系ではピンホール201を通過する反射光量により物体表面204の位置を判定することが可能であり、また照明光はスポットとして物体に照射されるため物体上の他の点からの光の影響がない。すなわち他点のボケは発生しない。

【0010】次に共焦点走査光学系について述べる。共焦点走査光学系は、前記の共焦点光学系を2次元的に走査することで2次元的な光学像を得る光学系であり、図3にその一例を示している。図3には共焦点走査光学系とともに共焦点走査光学系により得られる2次元的な光学像を光電変換する光電センサ2も同時に記載してあり、全体として共焦点走査撮像系を構成している。光源

101からでた光はコンデンサレンズ102により集光されNipkow disk103に照射される。Nipkow disk103は螺旋状に多数のピンホールが設けられた円盤であり、円盤上の多数のピンホールは、対物レンズ105との組み合わせでそれぞれが共焦点光学系をなしている。各ピンホール間は互いに光が干渉しあうことがないように十分な距離がとってある。このNipkow disk103をモータ104により高速で回転させると共焦点光学系の2次元走査がなされることになる。Nipkow disk103上のピンホールを通過した物体5からの反射光はハーフミラー107で反射し、レンズ108によりエリア形の光電センサ2へ導かれる。この部分は光電センサ2にNipkow disk103上のピンホールが結像する光学配置となっており、光電センサ2にはピンホールを通過する光の強度に応じた画像が形成される。

【0011】続いて本発明の一実施例を図1から図6を用いて説明する。図1に本発明の一実施例の構成を示す。共焦点走査光学系1により得られた2次元光学像は光電センサ2により電氣的な映像信号となる(共焦点走査光学系1と光電センサ2から構成されるこの映像信号生成部を共焦点走査撮像系3と呼ぶ)。共焦点走査撮像系3は先に詳述した図3に示す構成となっている。図3での共焦点走査撮像系3はNipkow disk103を回転させて走査する構成のものであるが、本発明では、より一般的な、レーザービームを回転ミラーやガルバノミラーまたはAO素子を用いて走査する構成にしてもよく、また速度的に許容される場合にはxyテーブルにより物体5を移動させる構成にしてもよい。図2に示す共焦点光学系と光学的に同等の光学系を2次元的に走査して画像を得るものであればどのような構成であってもよい。

【0012】図3における対物レンズ105を挟むNipkow disk103と物体5間の光路には図1のように焦点位置変化手段4が設けられ焦点位置を変化させることが出来るようになっている。この焦点位置変化手段4と共焦点走査撮像系3とにより得られる焦点位置の異なる複数の画像(例えば $z_1$ ,  $z_2$ ,  $z_3$ の焦点位置で得られた物体5の3枚の画像)は画像処理装置6に入力され、これらの画像から物体5の立体形状が画像処理装置6により演算される。

【0013】次に焦点位置の異なる複数の画像から物体5の立体形状を求める方法を述べる。それぞれの画像の物体5上の同一位置を表す点の濃度を焦点位置座標( $z$ 座標)上に並べればこれは図4に示した連続波形を離散化したものとなる。離散化の一例を図4に点線で示している。 $z$ 座標と光強度(画像では濃度)の関係は前記のモデル $|V(z)|^2$ で正確に表せるため、離散的な情報からcenter lobeのピーク位置(以下ピーク位置とする)つまり合焦位置を精度よく推定できる。例

例えば center lobe の形状によく似た関数であるガウス関数を用いればピーク位置は解析的に求めることができ、離散値の最大値  $v_1$  とその前後のどちらか 1 点  $v_2$  の計 2 点の値からピーク位置  $p$  は次のように表される  $p = p_1 + (1 + a_2 (v_2 - v_1)) / 2$ 。ここに  $p_1$  は  $v_1$  の  $z$  座標であり、 $a$  は lobe の広がり示すパラメータで照明の波長と対物レンズ 105 の  $N.A.$  で決まる定数である。ピーク位置の演算方法はこれだけではなく 3 点以上の点を用いてもよいし、2 次関数などの他の似た形状の関数を用いてもよい。もちろんモデル式  $|V(z)|^2$  を直接用いることもできる。他にもモーメントを用いた演算などが可能である。これらの演算処理のより高速化のために、演算結果を事前に LUT に格納しておき、その結果を参照するようにすることもできる。求めた合焦位置は物体のその点の高さを示しているから、上記の演算を画像中の全ての点に対して実行することで物体 5 の立体形状を求めることができる。

【0014】この演算過程を SFF 法の立体形状演算過程と比較してみる。(1) まず SFF 法で必須であった合焦測定演算(コントラスト評価)が全く必要ない

(2) 内挿演算において、SFF 法では物体の表面状態によりモデル式の形状パラメータが変化するためピーク位置演算のためには少なくとも 3 点が必要であり、また合焦測定とモデル式との関係が明らかでないため合焦測定演算方法も実験により選択の必要があるが、本発明で用いている共焦点光学系は論文[2]によればモデル式が正確に判っており物体 5 の表面状態や傾きが異なってもその形状パラメータが変化しないことから、本発明ではピーク位置がより精度よくかつより効率的に(最低 2 点から)求められるものである。

【0015】次に焦点位置変化手段 4 の構成を図 5 に示す。互いに厚さが異なる複数の平行平板形の透明体 402 が回転板 401 の円周上に並べられている(透明体 402 の材料としては光学ガラスや光学用樹脂、液体、液晶などを用いることができる)。この円周がちょうど共焦点走査光学系 1 の光軸と垂直に交わるように(共焦点走査光学系 1 の光路に透明体 402 が挿入されるように)回転板 401 が配置されている。モータ 403 により回転板 401 を高速に回転させると、共焦点走査光学系 1 の光路に挿入される透明体 402 の厚さが高速に変化することになる。透明体 402 の厚さが変化すると光路長の変化にともなって焦点位置が変化することから、結局、焦点位置が高速に変化することになる。回転板 401 の回転速度と共焦点走査撮像系 3 の撮像速度との同期をセンサ 404 を用いてとることにより、共焦点走査撮像系 3 の撮像速度(リアルタイム)で焦点位置の異なる画像を得ることが可能となる。光路長の変化手段として

互いに厚さの異なる複数の平行平板形の透明体 402 を用いたが、互いに屈折率の異なる複数の平行平板形の透明体 402 でも同様のことが可能である。またこの実施例の他にも、例えば共焦点走査光学系 1 の対物レンズ 105 を非球面レンズなどの特殊な光学素子によって簡単な構造とすれば、音叉などの加振動手段により直接対物レンズ 105 を動かすことで高速な焦点位置を変化させることも可能である。

【0016】図 3 では、対物レンズ 105 を一般的な結像レンズで示しているが、一般的な結像レンズでは、焦点位置の異なる画像それぞれの倍率は互いに異なるため、一般的な結像レンズを用いる場合、正確にはこの倍率変化を考慮した高き計測演算をする必要がある。そこで対物レンズ 105 を物体側にテレセントリックなレンズ(図 6 に示すように対物レンズ 602 の後側焦点に開きしぼり 601 がある構造)とすることにより、主光線が光軸に平行となることから、焦点位置が異なってもそれぞれの画像で倍率が変化が無いようになる。

【発明の効果】以上のように構成することによりオクルーディングエッジの問題がなく、元の画像に対して横分解能が低下することなく、処理が容易で、インラインでの使用に耐えうる速度で、かつ焦点位置変化に対して結像倍率の変化しない立体形状測定が可能となる。この装置により LSI の実装時の検査、例えば TAB のインナーリードのハガレやフォーミング異常の検査、ボンディングワイヤのループ高さ検査、バンプ形状検査などのインライン検査が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施例を示した図である。

【図 2】共焦点光学系の基本構成を示した図である。

【図 3】本発明の共焦点走査撮像系の一例を示した図である。

【図 4】像側の焦点位置と光強度との関係を示した図である。

【図 5】本発明の焦点位置変化の手段の一例を示した図である。

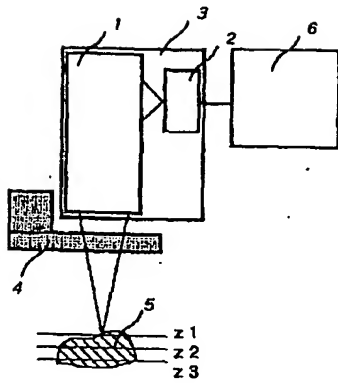
【図 6】テレセントリックな共焦点光学系を示した図である。

【図 7】オクルーディングエッジを説明するための図である。

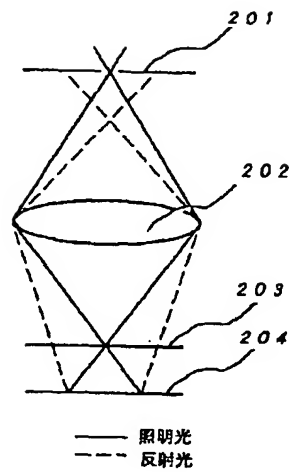
【符号の説明】

- |   |          |
|---|----------|
| 1 | 共焦点走査光学系 |
| 2 | 光電センサ    |
| 3 | 共焦点走査撮像系 |
| 4 | 焦点位置変化手段 |
| 5 | 物体       |
| 6 | 画像処理装置   |

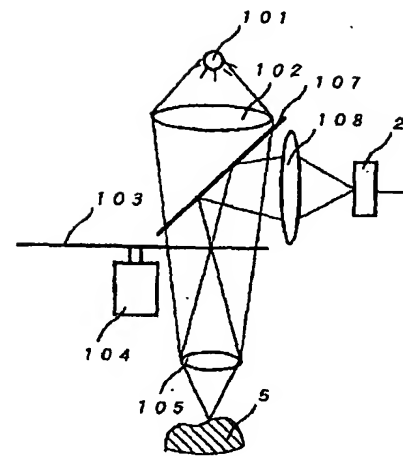
【図1】



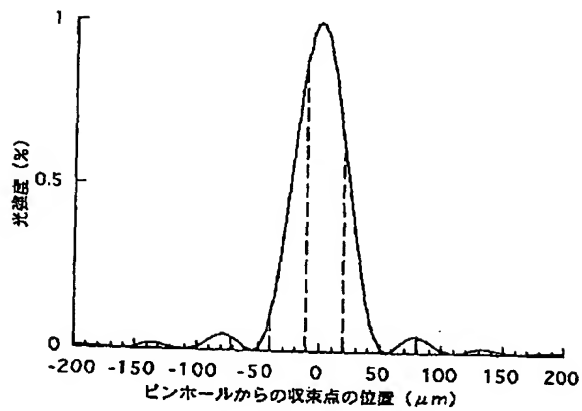
【図2】



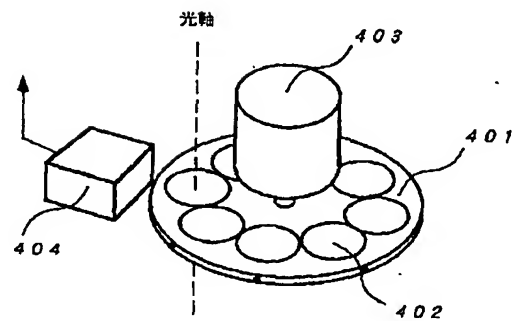
【図3】



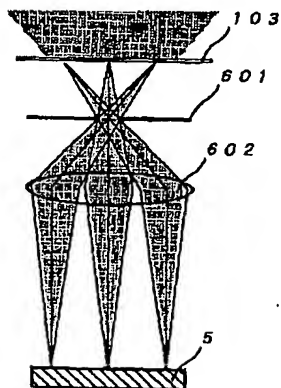
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

